

## Crescimento de filmes finos supercondutores de alta temperatura crítica por ablação a laser pulsado

**Pesquisador responsável:** Thiago José de Almeida Mori / Júlio Criginski Cezar

**Unidade:** Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

### INTRODUÇÃO

O fenômeno da supercondutividade foi descoberto em 1911 por Heike Kamerlingh Onnes. Ele foi o primeiro a obter a liquefação do gás hélio, que ocorre a aproximadamente 4,2 K, e pesquisava as propriedades de diversos materiais quando observou que a resistência elétrica do mercúrio caía inesperadamente a zero em temperaturas extremamente baixas. A supercondutividade se tornaria um dos fenômenos físicos mais fascinantes e desafiadores do século XX. Um número considerável de aplicações técnicas envolvendo supercondutores já foi implementado, outra parte ainda representa “sonhos” para um futuro mais distante. Entre os equipamentos que utilizam dispositivos supercondutores estão instrumentos de Ressonância Magnética Nuclear, magnetômetros SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*), bobinas para geração de campos extremamente altos e ainda um número grande de dispositivos crioeletrônicos. As áreas de aplicação incluem metrologia, instrumentação eletrônica, radioastronomia, neurologia e diagnósticos médicos, rastreamento eletrônico (radar, detecção de anomalias magnéticas), espectroscopia ambiental (atmosférica e espacial), prospecção ambiental e geológica, telecomunicações, processamento de dados e sinais digitais ultra-rápidos.

Em 1986, Bednorz e Müller observaram a supercondutividade em uma nova classe de materiais cerâmicos, os cupratos, nos quais as camadas da estrutura cristalina são dominadas por planos de óxidos de cobre. Estes materiais são supercondutores a temperaturas tão altas quanto 185 K, temperatura que pode ser atingida usando nitrogênio líquido, cujo ponto de liquefação é 77K. Esta descoberta causou grande euforia na comunidade científica motivada também pelas potenciais aplicações de filmes finos destes materiais tanto em um grande número de dispositivos crioeletrônicos quanto para o estudo de novas propriedades físicas destes compostos.

Mesmo após a descoberta de outras classes de supercondutores de alta temperatura crítica, a maior parte dos estudos ainda se concentra nos sistemas ortorrômbicos  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  (Re = terra rara). Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para o crescimento de filmes finos destes materiais, sendo possível crescer amostras tão finas quanto a célula unitária da rede cristalina. Em particular, a técnica de deposição física por ablação a laser (PLD, *Pulsed Laser Deposition*) permite o crescimento destes filmes. Todavia, a produção de amostras não é trivial. Para que seja possível obter filmes finos com excelente qualidade é necessário um completo entendimento dos processos de deposição e crescimento, em outras palavras, necessita-se entender a influência de cada parâmetro de deposição sobre as qualidades da amostra produzida.

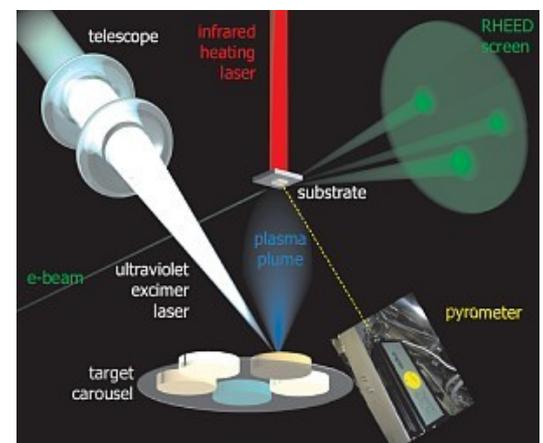


Figura 1: Esquema representativo da deposição de um filme fino por PLD.

**Estado da arte:** no que diz respeito a efeitos de campo elétrico em estruturas do tipo supercondutor-ferroelétrico (que é o nicho de pesquisa do projeto maior ao qual esta proposta de iniciação científica estará vinculada), recentemente A. Crauss e colaboradores conseguiram modular o condensado supercondutor em nano-escala via efeitos de campo em heteroestruturas combinando o supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  (YBCO) e o óxido ferroelétrico fortemente polarizado  $\text{BiFeO}_3$  (BFO) [1,2]. A modulação da densidade de portadores de carga é induzida através da inversão da polarização da camada ferroelétrica aplicando-se um pulso de voltagem. Desta forma a temperatura crítica ( $T_c$ ) do supercondutor foi alterada de maneira não-volátil e reversível, alcançando-se a maior variação para  $T_c$  ( $\sim 30$  K) em supercondutores de alta temperatura crítica. Ainda, uma nova forma de acoplamento magnetoelétrico observado permite a manipulação eletrostática de fluxóides (quanta de fluxo magnético). Além de diferentes alternativas para circuitos supercondutores reprogramáveis baseados em controle de quanta de fluxo magnético (fluxtrônica), a possibilidade de produzir dopagem por efeito de campo através de material ferroelétrico em nano-escala em sistemas com altas densidades de portadores de carga pode ser usado para a fabricação de nanodispositivos (spintrônicos com óxidos ferromagnéticos ou circuitos quânticos baseados em semicondutores, por exemplo) reconfiguráveis baseados em óxidos correlacionados [3].

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho será realizar um estudo sistemático da produção de filmes finos de YBCO, sobre substratos de  $\text{SrTiO}_2$ , na nova câmara de deposição por ablação a laser pulsado da linha U11-PGM do LNLS. Mais especificamente, deverá ser determinada a influência dos parâmetros de deposição sobre as propriedades estruturais, morfológicas e de transporte eletrônico dos filmes de YBCO. Busca-se obter filmes finos epitaxiais e com boas propriedades morfológicas e supercondutoras.

## METODOLOGIA

**Produção de filmes finos de YBCO por ablação a laser pulsado:** serão produzidos filmes finos, na câmara de PLD anexa à linha U11-PGM do LNLS, a partir de alvo estequiométrico de  $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , sob diferentes condições de deposição. Os parâmetros a serem analisados são: energia/fluência do laser, periodicidade dos pulsos de laser, pressão parcial de  $\text{O}_2$ , temperatura do substrato de  $\text{SrTiO}_2$ , distância alvo-substrato.

**Caracterização estrutural:** para determinar a qualidade cristalina das amostras, serão realizadas medidas de difração de raios-X. Estas análises poderão acontecer com o uso de difratômetro usual com tubo de Cu (no LNNano) e/ou, eventualmente, com radiação síncrotron.

**Caracterização morfológica/superficial:** para analisar propriedades como espessura, densidade e rugosidade/interdifusão, serão realizadas medidas de refletividade de raios-X (em difratômetro de raios-X usual e eventualmente com radiação síncrotron). Também serão obtidas imagens topográficas através de microscopia de força atômica, no equipamento anexo à linha de luz e que está interconectado com a câmara de deposição em ultra-alto vácuo.

**Medidas de resistividade elétrica:** para verificar a transição de fase e inferir as propriedades supercondutoras dos filmes produzidos, serão realizadas medidas multiterminais de resistividade - pelo método das 4 pontas - na câmara de medidas de transporte eletrônico do grupo. Esta câmara permite a aquisição de dados sob temperaturas tão baixas quanto 10 K.

## APRENDIZADO PARA O ALUNO DE IC

Em suma, esta proposta oferece treinamento em crescimento e caracterização de filmes finos de óxidos. Do ponto de vista técnico, o estudante será capacitado para operar o sistema de deposição por laser pulsado - o que também envolve controle *in situ* do crescimento por RHEED (*Reflection High Energy Electron Diffraction*), e ainda adquirirá conhecimentos avançados sobre difração e refletividade de raios-X, microscopia de força atômica e medidas de transporte eletrônico em baixas temperaturas. Instrumentação para ultra-alto vácuo, uso de laser de alta potência, controle de temperatura, e programação para automação de experimentos são assuntos nos quais o aluno certamente adquirirá habilidades. Do ponto de vista científico, além de aprofundar seus conhecimentos sobre processos de crescimento de filmes finos e também sobre supercondutores de alta temperatura crítica, se o estudante tiver interesse poderá acompanhar o desenvolvimento do projeto principal que envolve o estudo de nanoestruturas do tipo supercondutor-ferroelétrico, por técnicas de absorção e fotoemissão, utilizando radiação síncrotron *in situ* e sob aplicação de campos elétricos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Crassous, A. *et al.* Nanoscale Electrostatic Manipulation of Magnetic Flux Quanta in Ferroelectric/Superconductor BiFeO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> Heterostructures. *Phys. Rev. Lett.* **107**, 247002 (2011).
- [2] Crassous, A. *et al.* BiFeO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> heterostructures for strong ferroelectric modulation of superconductivity. *J. Appl. Phys.* **113**, 024910 (2013).
- [3] Heber, J. Enter the oxides. *Nature* **459**, 28-30 (2009).

### Para saber mais sobre...

supercondutores de alta temperatura crítica:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Supercondutividade#Supercondutividade\\_a\\_altas\\_temperaturas](http://pt.wikipedia.org/wiki/Supercondutividade#Supercondutividade_a_altas_temperaturas)

deposição por ablação a laser pulsado:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed\\_laser\\_deposition](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed_laser_deposition)

<http://finslab.com/enciclopedia/letra-a/a-deposicao-por-laser-pulsado.php>

difração de raios-X e lei de Bragg:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Bragg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Bragg)

[http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1\\_multipart\\_xF8FF\\_2\\_DIFRACAO.pdf](http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1_multipart_xF8FF_2_DIFRACAO.pdf)

microscopia de força atômica:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscopia\\_de\\_for%C3%A7a\\_at%C3%B4mica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscopia_de_for%C3%A7a_at%C3%B4mica)

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Microsc%C3%B3pio\\_de\\_for%C3%A7a\\_at%C3%B4mica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Microsc%C3%B3pio_de_for%C3%A7a_at%C3%B4mica)

medidas de transporte eletrônico:

<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n4/10539.pdf>